

文章编号:1673-9981(2019)01-0022-05

连续玻璃纤维增强聚丙烯复合材料板材弯曲性能研究*

熊鑫, 蒲颖, 邓荣坚, 宋威, 范欣愉

广州金发碳纤维新材料发展有限公司, 广东 广州 510000



摘要:为了积累热塑性复合材料的基础研究数据,通过改变相容剂 PP-g-MAH 含量、环境温度、复合材料铺层结构等方法,研究各种因素对复合材料的弯曲性能的影响.结果表明:添加相容剂 PP-g-MAH 能提高板材的弯曲强度,PP-g-MAH 的合适用量是树脂基体的 3.0% ~ 4.5%;随着温度的升高,复合材料板材的弯曲强度和弯曲模量均降低,由于夹芯板玻纤含量相对较低,其弯曲性能的降低幅度更大;不同的铺层结构对复合板材弯曲性能影响较大,0°方向上的弯曲强度和弯曲模量均高于 90°方向上的.

关键词:热塑性复合材料;弯曲强度;弯曲模量;PP-g-MAH;铺层结构

中图分类号:TB332

文献标识码:A

连续纤维增强热塑性复合材料是以热塑性树脂为基体,连续纤维为增强材料,树脂基体包括 PP, PE, PA 和 ABS 等,增强纤维可以是碳纤维、玻璃纤维等.与热固性复合材料相比,热塑性复合材料不仅具有较好的耐腐蚀性,还有较高的抗冲击性能和较高的损伤容限.热塑性复合材料产品具有生产加工周期短、可连续化生产、环境污染小,能够反复成型和回收利用的优点^[1-4].

与传统的热固性复合材料相比,国内热塑性复合材料应用范围很有限,局限在汽车行业的“有机板”、RTP 增强管道及内衬板等方面^[5-7].国内对热塑性复合材料研究主要集中在浸渍技术及成型工艺

等方面,缺少一些基础性的研究数据^[8-12].通过研究连续玻璃纤维增强聚丙烯复合材料的弯曲性能,考察热塑性预浸料配方中相容剂(PP-g-MAH)的合适用量,以及不同温度、不同铺层方案对复合材料板材弯曲强度和弯曲模量的影响,为热塑性复合材料的应用提供基础性的数据.

1 试验部分

1.1 原材料

试验中使用的原材料列于表 1.

表 1 原材料
Table 1 Raw materials

| 主要原材料 | 规格牌号 | 生产厂家 |
|-----------------|-----------------|----------------------------------|
| PP 树脂 | BX3900 | 韩国 SK 株式会社 SK Networks Co., Ltd. |
| 1.4 mm 厚 PP 树脂板 | SP179 | 广州金发碳纤维新材料发展有限公司 |
| 玻纤纱 | ER4305S-1200 | 重庆国际复合材料有限公司 |
| 相容剂 PP-g-MAH | Bondyram 1001CN | 上海壮景化工有限公司 |

收稿日期:2019-01-11

* 基金项目:广州市科技计划项目(201604046003);广州市科技计划项目(201710010177)

作者简介:熊鑫(1989-),男,河南信阳人,工程师,硕士,研究方向为连续纤维增强热塑性复合材料.

1.2 试样制备

以PP树脂为基体,加入一定量的相容剂PP-g-MAH,采用强制熔融浸渍法生产连续玻璃纤维增强PP单向预浸料(Unidirectional Tape, UD Tape),预浸料的玻纤质量含量为70%,生产的预浸料厚度规格

分别为0.15,0.25和0.50 mm.按照一定的铺层方案,用热压机复合成板材,复合温度为180℃、热压速度为3 m/min.试验用的实芯和夹芯的板材结构如表2所示.

表2 实芯板和夹芯板的结构

Table 2 Structure of solid and sandwich panel

| 板材 | 组成 | 铺层方案 | 板材厚度/mm |
|-----|----------------------------------|-----------------------------|---------|
| 实芯板 | 0.15 mm UD Tape | [0/90/90/0/90] _s | 1.5 |
| 夹芯板 | 0.15 mm 的 UD Tape, 1.4 mm 的 PP 板 | [0/90/PP板/90/0] | 2 |

1.3 弯曲性能测试

使用CNC裁切设备将板材裁切成样条,裁切尺寸为75 mm×15 mm,跨距为60 mm,规定板材面层纤维方向为0°方向.弯曲测试的样条如图1所示.

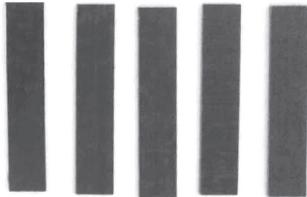


图1 弯曲测试试样

Fig. 1 Bending test specimens

按照标准ISO 14125进行弯曲测试试验,为保证试样能够达到指定温度,保温时间不少于20 min.将试样放置高温弯曲测试设备中,在进行高温弯曲测试过程中关闭保温箱.高温弯曲测试设备如图2所示.



图2 高温弯曲测试设备

Fig. 2 High temperature bending test equipment

1.4 主要设备

强制熔融浸渍法的连续纤维增强热塑性预浸料生产设备,为广州金发碳纤维新材料发展有限公司自研;热塑性复合材料热压机, Meyer Laminating Machine KFK-X 1900; CNC裁切设备,型号DM1325,鼎申数控制造;弯曲测试用的高低温万能材料试验机,型号UTM16539,深圳三思纵横科技股份有限公司制造.

2 结果与分析

2.1 PP-g-MAH含量对复合板材弯曲性能的影响

研究PP-g-MAH用量对连续玻璃纤维增强PP复合材料板材弯曲性能的影响,试验板材为实芯板.试验只测试0°方向的数据,树脂体系中PP-g-MAH的含量分别为0,1.5%,3.0%,4.5%和6.0%,测试结果如图3所示.

从图3可见:当PP-g-MAH含量在0~3.0%时,弯曲强度迅速升高,说明PP-g-MAH能有效改善玻璃纤维和PP树脂的结合性能,提高弯曲强度;当PP-g-MAH含量达到3.0%以上时,弯曲强度缓慢增加,此时过量的PP-g-MAH仅仅充当了树脂成份,提高板材弯曲强度能力有限.因此,PP-g-MAH最佳含量为3.0%~4.5%.从图3还可看出,PP-g-MAH含量对弯曲模量影响不大,这是因为玻璃纤维是刚性材料,弯曲应力主要靠玻纤承担,复合板材的弯曲模量主要受玻纤含量的影响较大.

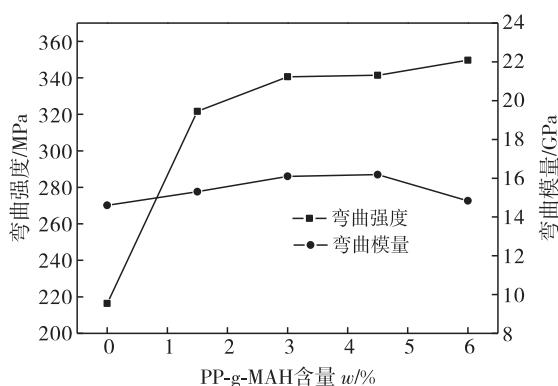


图3 PP-g-MAH 含量对复合板材弯曲性能的影响
Fig. 3 The effect of PP-g-MAH dosage on the bending properties of composite sheet

2.2 温度对复合板材弯曲性能的影响

研究了实芯板和夹芯板在不同温度条件下弯曲性能,试验只测试了 0° 方向的数据,弯曲强度的测试结果如图4所示.从图4可见:随着温度的升高,实芯板和夹芯板的弯曲强度都有不同程度的降低;当温度为 90°C 和 120°C 时,实芯板的弯曲强度分别比常温降低了39.07%和61.85%,而夹芯板的弯曲强度分别比常温降低了65.90%和72.15%.这是因为热塑性复合材料树脂基体受热“软化”,导致复合板材的弯曲强度降低,尤其是夹芯板中有PP板,造成玻纤含量比实芯板更低,因此温度对夹芯板的弯曲性能影响更明显.

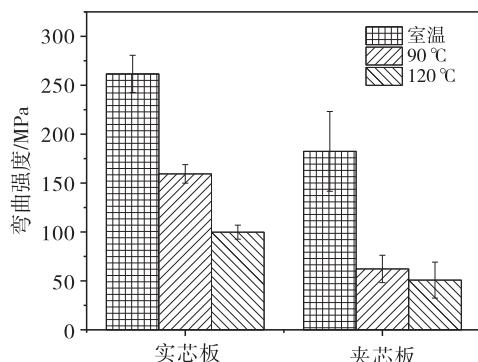


图4 不同温度下复合板材的弯曲强度
Fig. 4 Bending strength of composite plates at different temperatures

图5为不同温度下复合板材的弯曲模量测试结果.从图5可见,当温度为 90°C 和 120°C 时,实芯板的弯曲模量比常温下分别降低了18.08%和21.09%,而夹芯板分别降低了19.44%和37.61%.

与弯曲强度的情况类似,温度对夹芯板的模量影响也显著.

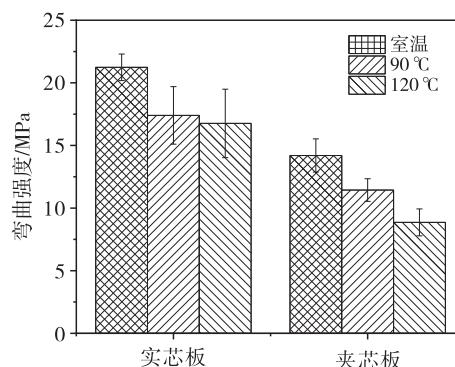


图5 不同温度条件下的复合板材弯曲模量
Fig. 5 Bending modulus of composite plates at different temperatures

2.3 复合板材的铺层结构对弯曲性能的影响

研究室温条件下复合板材的铺层结构对弯曲性能的影响,测试了复合板材 0° 和 90° 方向的弯曲强度.试验用的预浸料中玻纤质量分数为70%,厚度为0.25 mm和0.50 mm,复合后的实芯板材厚度为2 mm.铺层结构设计有4种方案(表3).

表3 铺层方案

Table 3 Layer schemes

| 方案 | 单层预浸料 | 铺层方案 |
|----|-------------------|-----------------------|
| 1 | 0.50 mm 的 UD Tape | [0/90/90/0] |
| 2 | 0.25 mm 的 UD Tape | [0/90/0/90/90/0/90/0] |
| 3 | 0.25 mm 的 UD Tape | [0/90/90/0/0/90/90/0] |
| 4 | 0.25 mm 的 UD Tape | [0/0/90/90/90/90/0/0] |

图6为不同铺层方案复合板材的弯曲强度.从图6可以看出:无论哪种铺层方案,复合板材在 0° 方向的弯曲强度均高于 90° 方向的;与其它方案对比,方案1和方案4的复合板材的弯曲强度在两个方向差别更明显, 0° 方向的弯曲强度比 90° 方向的分别高出250%和277%.这是由于复合板材的弯曲强度与预浸料的厚度和铺层结构有关,方案1和方案4复合板材的 0° 均分布在外层,根据弯曲应力的分布特点可知,距离中面越远承受的弯曲应力越大,从而获得更高的弯曲强度.同时,从图6还可看出,在对应的方向上,方案4的板材弯曲强度整体高于方案1的.方案1用的单层预浸料的厚度为0.50

mm,而方案4的单层预浸料的厚度为0.25 mm,虽然铺层结构比较接近,但由于0.50 mm预浸料的浸渍效果明显比0.25 mm的差,导致方案1的复合板材有很多缺陷,从而使弯曲强度偏低。

方案2、方案3和方案4均选用厚为0.25 mm的预浸料,且具有相同比例的0°和90°铺层,但是弯曲强度仍呈现出不同的特征。这是由于方案4中0°铺层靠近外层,90°铺层均在内层,导致两个方向上的弯曲强度差异最大。而方案2和方案3分配一部分90°铺层在外侧,减少了两个方向上的弯曲强度差异,尤其是方案3平衡了两个方向上的弯曲强度,0°方向的仅比90°高12.8%。

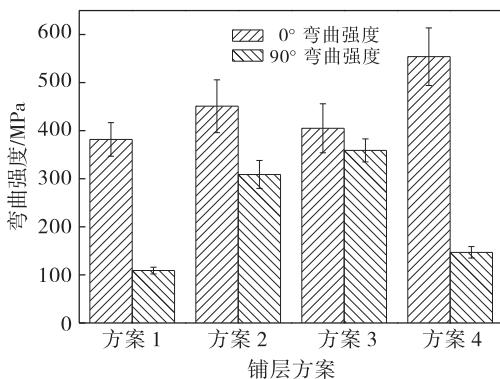


图6 不同铺层方案复合板材的弯曲强度

Fig. 6 Bending strength of composite plates with different lamination schemes

图7为不同铺层方案复合板材的弯曲模量测试结果。从图7可见,整体来说,0°方向的弯曲模量高于90°方向的,尤其是方案1和方案4,0°方向的弯曲模量分别是90°方向的7.13倍和4.35倍。复合板材中单层对弯曲刚度系数的贡献与单层到中面距离的三次方成正比^[13],因此弯曲模量受铺层结构的影响很大,四个铺层方案的弯曲模量与弯曲强度表现出相似的变化特征。

3 结论

(1)添加相容剂PP-g-MAH能提高复合材料板材的弯曲强度,但对弯曲模量影响不大,PP-g-MAH的合适用量是树脂基体的3.0%~4.5%。

(2)温度升高到90℃和120℃时,复合材料板材的弯曲强度和弯曲模量均降低。尤其是复合材料夹芯板,由于玻纤含量相对较低,温度升高后其强度

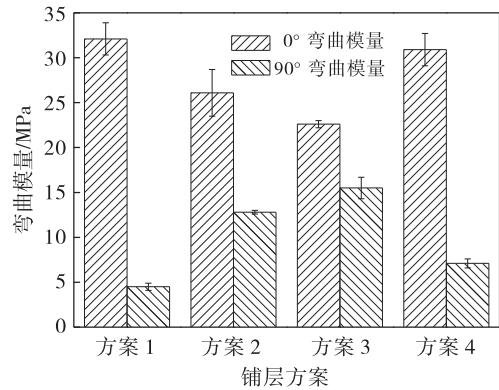


图7 不同铺层方案弯曲模量

Fig. 7 Bending modulus of different lamination schemes

和模量降低的幅度更大。

(3)不同的铺层结构对复合板材弯曲强度和弯曲模量影响较大,0°方向的弯曲强度和弯曲模量均高于90°方向的。

参考文献:

- [1] 蔡福泉. 连续纤维增强热塑复合材料研发及应用[J]. 高科技纤维与应用, 2016, 41(6): 1-5.
- [2] 孙银宝, 李宏福, 张博明. 连续纤维增强热塑复合材料研发与应用进展[J]. 航空科学技术, 2016, 27(5): 1-6.
- [3] SATHISHKUMAR T P, SATHEESHKUMAR S, NAVEEN J. Glass fiber-reinforced polymer composites: A review [J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2014, 33(13): 1258-1275.
- [4] 余剑英, 周祖福. 连续纤维增强热塑复合材料的制备成型技术及其应用前景[J]. 武汉工业大学学报, 2016, 20(4): 22-24.
- [5] VAZ M A, RIZZO N A S. A finite element model for flexible pipe armor wire instability [J]. Marine Structures, 2011, 24(3): 275-291.
- [6] 黄宝元, 陶岳杰, 冯济斌, 等. 增强热塑性塑料复合管道研究进展及其应用现状[J]. 新型建筑材料, 2011, 41(1): 71-76.
- [7] 王荣国, 刘文博, 张东兴, 等. 连续玻璃纤维增强热塑性复合材料工艺及力学性能的研究[J]. 航空材料学报, 2001, 21(2): 44-47.
- [8] 陈锐彬, 沈旭渠, 刘俊, 等. 相容剂的添加量对玻纤增强聚丙烯性能的影响[J]. 广东化工, 2018, 384(45): 29-30.
- [9] 田振生, 刘大伟, 李刚, 等. 连续纤维增强热塑性树脂预浸料的研究进展[J]. 玻璃钢/复合材料, 2013(7): 53-58.

- [10] 李学宽,肇研,王凯,等. 热熔法制备连续纤维增强热塑性预浸料的浸渍模型和研究进展[J]. 复合材料制备,2018,61(14):74-78.
- [11] 金思宇,黄有平,范欣愉,等. 玻纤增强热塑性复合材料公路护栏应用技术开发[J]. 高科技纤维与应用,2016,41(4):56-64.
- [12] 任峰,谢兴阳,曹敏华,等. 高压静电场对玻璃纤维增强聚丙烯复合材料预浸料浸渍和断裂的影响[J]. 复合材料学报,2018,35(8):2046-2054.
- [13] 王耀先. 复合材料结构设计[M]. 北京:化学工业出版社,2001:91.

Study on the bending properties of continuous glass fiber reinforced PP composite materials

XIONG Xin, PU Ying, DENG Rongjian, SONG Wei, FAN Xinyu

Guangzhou Kingfa Carbon Fiber New Material Development Co., LTD., Guangzhou 510000, China

Abstract: In this paper, in order to accumulate the basic research data of thermoplastic composites, the bending properties of composites under various conditions were studied by changing the content of compatibilizer PP-g-MAH, temperature and composite lamination structure. It is concluded that the bending strength can be improved by adding compatibilizer PP-g-MAH. The dosage of PP-g-MAH is 3.0% ~ 4.5% of the resin matrix. The bending strength and modulus were decreased with the increase of temperature, and the reduction of bending performance was greater for sandwich plates because of the relatively low glass fiber content. Different lamination structures influence the bending performance, the strength and modulus in 0° direction were higher than 90° direction.

Key words: thermoplastic composites; bending strength; bending modulus; PP-g-MAH; laminated structure

· 本刊开设特约文章专栏 ·

为了尽快反映科技动态,宣传科研及学科带头人,本编辑部决定增设特约文章专栏。特约文章由国家重大科研项目和基金项目的负责人、学科带头人撰写,报道内容主要包括先进材料、功能材料、金属材料、复合材料、陶瓷材料等材料类的科研成果、理论探讨、专题性或综合性的动态评述等,论文篇幅8000字左右。特约文章优先发表,欢迎各位专家、学者踊跃投稿。

联系电话:020-61086285

投稿邮箱:gdys6108@163.net 或 clyjyyy@gdinm.com